

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-244076

(43) 公開日 平成9年(1997)9月19日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35			G 0 2 F 1/35	
H 0 4 B 10/28			H 0 4 B 9/00	W
10/02				

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平8-52017

(22) 出願日 平成8年(1996)3月8日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 マニッシュ・シャーマ

東京都日野市旭が丘3丁目1番地の1 株
式会社東芝日野工場内

(72) 発明者 菅原 潤

東京都日野市旭が丘3丁目1番地の1 株
式会社東芝日野工場内

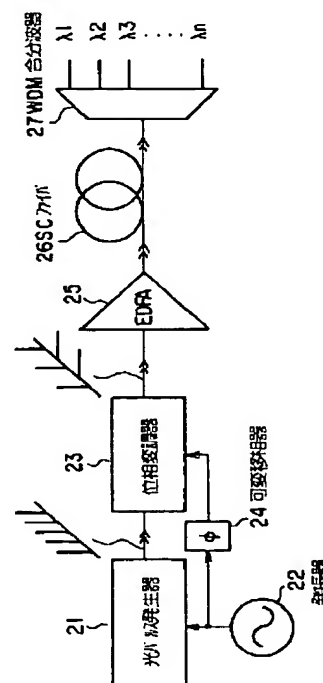
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 多波長光源

(57) 【要約】

【課題】 簡単かつ低コストな手法で無偏光の広帯域白色パルスを得る。

【解決手段】 光パルス列発生器21及び発振器22により発生される光パルス列を位相変調器23に入力し、パルス繰り返し周波数に基づき位相変調器23を駆動制御することで、各光パルスを直交する2つの偏波状態に交互に変化させる。この光パルス列をEDFA25で増幅し、SCファイバ26で光スペクトルを拡散することでSCスペクトルを拡大し、光波長分離器27で任意の波長を切出し出力する。この場合、光パルス列を偏波状態がパルス毎に交互に直交させているので、SCファイバ26と光変調器との接続で偏波保持する必要がない。特に、SCファイバ26の偏波分散が十分小さければ、直交したSCパルスは時間領域で重ならない。よって、時間平均の偏光度をゼロに維持でき、無偏光の広帯域白色パルスが得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光パルス列を発生する光パルス列発生手段と、

この手段で発生される光パルス列を入力し、各光パルスを直交する 2 つの偏波状態に交互に変化させる偏波制御手段と、

この偏波制御手段から出力される光パルス列を増幅する光増幅器と、

この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、

この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備することを特徴とする多波長光源。

【請求項 2】 前記偏波制御手段は、位相変調器を用い、この位相変調器の光導波路に対し、前記光パルス列を TE モードと TM モードが半分ずつとなるように与え、前記光パルス列の周波数に基づいてドライブすることを特徴とする請求項 1 記載の多波長光源。

【請求項 3】 前記偏波制御手段は、前記光パルス列を 2 つのパスに分配する分配手段と、この手段で分配された一方のパスの光パルス列が他方のパルス列より半周期遅延させると同時に偏波面を 90 度回転させる遅延／偏波面制御手段と、この手段で得られた両パスの光パルス列を多重する多重手段とを具備することを特徴とする請求項 1 記載の多波長光源。

【請求項 4】 前記偏波制御手段は、ファストモードとスローモードの 2 つの偏波モードを持ち、各モードの伝達遅延差が前記光パルス列のパルス周期の半分になる長さの偏波保持ファイバを用い、前記 2 つの偏波モードに前記光パルス列を同じパワーで入射することを特徴とする請求項 1 記載の多波長光源。

【請求項 5】 前記光スペクトル拡散手段は、非線形性を有する分散シフトファイバを用いることを特徴とする請求項 1 記載の多波長光源。

【請求項 6】 光パルス列を発生する光パルス列発生手段と、

この手段で発生される光パルス列を入力し、各光パルスを直交する 2 つの偏波状態に交互に変化させる偏波制御手段と、

この偏波制御手段から出力される光パルス列を増幅する光増幅器と、

この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、

この手段で得られた光パルス列のパルス繰り返し周波数を遅倍する遅倍手段と、

この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備することを特徴とする多波長光源。

【請求項 7】 前記遅倍手段は、前記光パルス列を 2 つのパスに分配し、一つのパスの光パルス列を半周期分遅延さ

せた後、再び多重する操作を繰り返す行うことを特徴とする請求項 6 記載の多波長光源。

【請求項 8】 前記遅倍手段は、前記光パルス列を N (N は 2 以上の自然数) 個のパスに分配し、それぞれ光パルス列を相対的に 0 , T/N , $2T/N$, $3T/N$, ..., $(N-1)T/N$ で遅延させて (T : パルス周期)、再び多重することを特徴とする請求項 6 記載の多波長光源。

【請求項 9】 前記遅倍手段は多重処理にスターカプラを用い、前記光波長分離手段は複数個の光波長分離器を備え、前記スターカプラにより遅倍された光パルス列を前記複数個の光波長分離器に入力するようにしたことを特徴とする請求項 8 記載の多波長光源。

【請求項 10】 レーザ光を出力するレーザ光源と、このレーザ光源を搬送波周波数で直接パルス変調する変調手段と、

前記レーザ光源から出力される光パルス列のパルス幅を狭くするパルス幅制御手段と、

このパルス幅制御手段から出力される光パルス列を増幅する光増幅器と、

この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、

この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備することを特徴とする多波長光源。

【請求項 11】 前記パルス幅制御手段は、電気吸収型変調器を用い、この変調器に対し、前記光パルス列を入力し、前記レーザ光源に対する直接変調信号に位相を合わせて駆動することを特徴とする請求項 10 記載の多波長光源。

【請求項 12】 それぞれ同一周期で光パルス列を発生する第 1 及び第 2 の光パルス列発生手段と、

前記第 1 及び第 2 の光パルス列発生手段で発生される光パルス列を多重分配する光パルス列多重分配手段と、

この手段で分配される一方の光パルス列をモニタし、前記第 1 及び第 2 の光パルス列発生手段のパルス間隔が半周期ずれるようにいずれか一方の光パルス列発生手段を制御するパルス間隔制御手段と、

前記光パルス列多重分配手段で分配される他方の光パルス列を増幅する光増幅器と、

この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、

この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備することを特徴とする多波長光源。

【請求項 13】 それぞれ同一周期で光パルス列を発生する第 1 及び第 2 の光パルス列発生手段と、それぞれ前記第 1 及び第 2 の光パルス列発生手段で発生される光パルス列を増幅する第 1 及び第 2 の光増幅器と、

それぞれ前記第 1 及び第 2 の光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する第 1 及び第 2 の光スペクトル拡散手段と、

前記第 1 及び第 2 の光スペクトル拡散手段から出力される光パルス列を多重分配する光パルス列多重分配手段と、

この手段で分配される一方の光パルス列をモニタし、前記第 1 及び第 2 の光パルス列発生手段のパルス間隔が半周期ずれるようにいずれか一方の光パルス列発生手段を制御するパルス間隔制御手段と、

前記光パルス列多重分配手段で分配された他方の光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備することを特徴とする多波長光源。

【請求項 14】さらに、前記光増幅器に入力される前に、前記光パルス列の各光パルスを直交する 2 つの偏波状態に交互に変化させる偏波制御手段を備えることを特徴とする請求項 6、10、12、13 いずれかに記載の多波長光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば光波長多重通信システムに用いられ、互いに波長の異なる複数の光搬送波を発生する多波長光源に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、従来の光波長多重通信システムには、互い波長の異なる複数の光搬送波を用いられている。現在、各光搬送波は個別のレーザダイオードで発生している。しかし、最近、広帯域白色パルス（SC: supercontinuum）と波長分離器を用いて、波長の異なる複数の光搬送波を発生できることが論証された（Electronics Letters, vol. 31, no. 13, pp1064-1066, 1995）。その実験報告における構成を図 16 に示す。

【0003】図 16 において、光パルス発生器 11 は、例えばモード・ロック・ファイバ・リング・レーザ（mode-locked fiber ring laser）を用いて、発振器 12 からのパルス信号によりレーザ出力を変調し、幅 3.5 ps、パルス繰り返し周波数 6.3 GHz の光パルス列を発生する。

【0004】この光パルス列をエルビウム添加ファイバ増幅器（以下、EDFA: ErbiumDoped Fiber Amplifier）13 によりピークパワーが 1W 程度になるように増幅する。そして、長さ 3 km の分散シフトファイバ（以下、SCファイバ）14 を通す。

【0005】このとき、SCファイバ 14 の出力光は、その非線形性によって光スペクトルが 200 nm も拡散される。図 17 にその様子を示す。図 17 (a)、

(b) はそれぞれ SCファイバにおける時間領域の入力パルスと出力パルスのスペクトル、図 17 (c)、

(d) は SCファイバにおける波長領域の入力パルスと出力パルスのスペクトルを示す。

【0006】図 17 に示すように、極短の光パルスを非線形な物質（例えば分散シフトファイバ）に通すと、自己位相変調（SPM: self phase modulation）が起こり、広帯域白色パルスが発生する。このとき、ピークパワーの高いパルスを使うと、SPM が強く起こり、スペクトルの広がりが増大する（Agrawal の「Nonlinear fiber optics」を参照）。

【0007】デューティが小さくパルス幅が数ピコセカンドオーダーの光パルス列を用いると、光増幅器（例えば EDFA）で数ワットオーダーのピークパワーを達成できる。さらに、分散シフトファイバに通せば、図 17 (c)、(d) に示すように、そのスペクトル幅は数十 nm まで広げることができる。したがって、SC スペクトルの一部をフィルタ等の波長分離器で取り出せば、その部分を光搬送波として利用することができる。

【0008】SC スペクトルは、パルス繰り返し周波数と同じ周波数で離れた成分からなるので、全スペクトルの一部を波長分離器で取り出せば、複数の成分が取り出すことができる。時間領域でみると、図 17 (a)、

(b) に示すように、取り出された信号はパルス列である。もちろん、非常に狭いフィルタを使えば、一つの成分だけを取り出すことも可能である。フィルタの帯域をさらに広くとればパルス幅を狭くすることができる。

【0009】このように光スペクトルが拡張された光パルス列をアレー導波路型 WDM 合分波器 15 に入力し、SC スペクトルから互いに波長の異なる複数の光パルス列 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を取り出して光搬送波とする。

【0010】上記の実験報告では、1 nm 間隔で 16 波のパルス列を発生して、各パルス列を光搬送波として用い、それぞれデータ変調して伝送できたことが示されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記構成による多波長光源には、光変調器の偏波依存性に影響される点で問題がある。すなわち、通常的光変調器は、ある偏波面の光しか変調できないので、入力光の偏波をこれと合わせる必要がある。このため、上記多波長光源を用いた場合、モード・ロック・ファイバ・レーザから、EDFA、数キロの分散シフトファイバ、WDM 合分波器、光変調器、それらを繋ぐ光ファイバを全て偏波保持型にする必要がある。

【0012】この場合、偏波保持ファイバの利用が考えられるが、コストが通常のファイバの数十倍高いばかりか、ファイバの接続が難しく、その接続費用がかかり、さらに性能的にも偏波消光比が落ちるといふ点で問題がある。

【0013】さらには、長さが 1 km 以上になると、偏波保持ファイバの性能（偏波消光比）が落ちるといふ問題もある。結局、偏波保持ファイバを用いても、偏波面を保持できなくなって、光変調器に通すとパワーレベル

が変動してしまうことになる。

【0014】また、上記構成による多波長光源は、光ファイバが非線形効果を起こすため、非常に高パワーの光が必要となる。高い平均パワーを達成するためには、EDFAを使う必要がある。EDFAの平均出力パワーを制限しているのは、光ファイバに結合できる励起光パワーである。

【0015】ここで、連続光の代わりに、幅が狭く繰り返し周波数の低い光パルス列をEDFAで増幅すれば、かなり高いピークパワーの光パルス列を発生できる。ところが、各データビットを送るためには少なくとも一つのパルスが必要であるので、伝送できる最高のビットレートはパルスの繰り返し周波数と同じである。すなわち、繰り返し周波数の低い光パルス列を光搬送波として用いると、伝送できるデータの最高ビットレートも制限されてしまう。

【0016】本発明は、上記の問題を解決するために、簡単かつ低コストな手法で無偏光の広帯域白色パルスが発生できる多波長光源を提供することを第1の目的とし、また、簡単かつ低コストな手法で高いビットレートのデータを伝送可能な広帯域白色パルスが発生できる多波長光源を提供することを第2の目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的を達成する第1の発明の多波長光源は、光パルス列を発生する光パルス列発生手段と、この手段で発生される光パルス列を入力し、各光パルスを直交する2つの偏波状態に交互に変化させる偏波制御手段と、この偏波制御手段から出力される光パルス列を増幅する光増幅器と、この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備して構成される。

【0018】前記偏波制御手段としては、位相変調器を用い、この位相変調器の光導波路に対し、前記光パルス列をTEモードとTMモードが半分ずつとなるように与え、前記光パルス列の周波数に基づいてドライブするようにした。

【0019】他の前記偏波制御手段としては、前記光パルス列を2つのパスに分配する分配手段と、この手段で分配された一方のパスの光パルス列が他方のパルス列より半周期遅延させると同時に偏波面を90度回転させる遅延／偏波面制御手段と、この手段で得られた両パスの光パルス列を多重する多重手段とを備えるようにした。

【0020】他の前記偏波制御手段としては、ファストモードとスローモードの2つの偏波モードを持ち、各モードの伝送遅延差が前記光パルス列のパルス周期の半分になる長さの偏波保持ファイバを用い、前記2つの偏波モードに前記光パルス列を同じパワーで入射するようにした。

【0021】前記光スペクトル拡散手段は、非線形性を有する分散シフトファイバを用いるようにした。一方、第2の目的を達成する第2の発明の多波長光源は、光パルス列を発生する光パルス列発生手段と、この手段で発生される光パルス列を入力し、各光パルスを直交する2つの偏波状態に交互に変化させる偏波制御手段と、この偏波制御手段から出力される光パルス列を増幅する光増幅器と、この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、この手段で得られた光パルス列のパルス繰り返し周波数を通倍する通倍手段と、この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備して構成される。

【0022】前記通倍手段としては、前記光パルス列を2つパスに分配し、一つのパスの光パルス列を半周期分遅延させた後、再び多重する操作を繰り返し行うようにした。

【0023】他の通倍手段としては、前記光パルス列を N (N は2以上の自然数) 個のパスに分配し、それぞれ光パルス列を相対的に 0 、 T/N 、 $2T/N$ 、 $3T/N$ 、 \dots 、 $(N-1)T/N$ で遅延させて (T :パルス周期)、再び多重するようにした。

【0024】さらに他の前記通倍手段としては、多重処理にスターカプラを用い、前記光波長分離手段は複数個の光波長分離器を備え、前記スターカプラにより通倍された光パルス列を前記複数の光波長分離器に入力するようにした。

【0025】また、第2の発明の多波長光源は、レーザ光を出力するレーザ光源と、このレーザ光源を搬送波周波数で直接パルス変調する変調手段と、前記レーザ光源から出力される光パルス列のパルス幅を狭くするパルス幅制御手段と、このパルス幅制御手段から出力される光パルス列を増幅する光増幅器と、この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備するようにした。

【0026】前記パルス幅制御手段は、電気吸収型変調器を用い、この変調器に対し、前記光パルス列を入力し、前記レーザ光源に対する直接変調信号に位相を合わせて駆動するようにした。

【0027】また、第2の発明の多波長光源は、それぞれ同一周期で光パルス列を発生する第1及び第2の光パルス列発生手段と、前記第1及び第2の光パルス列発生手段で発生される光パルス列を多重分配する光パルス列多重分配手段と、この手段で分配される一方の光パルス列をモニタし、前記第1及び第2の光パルス列発生手段のパルス間隔が半周期ずれるようにいずれか一方の光パルス列発生手段を制御するパルス間隔制御手段と、前記光パルス列多重分配手段で分配される他方の光パルス列

を増幅する光増幅器と、この光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する光スペクトル拡散手段と、この手段で得られた光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備して構成される。

【0028】また、第2の発明の多波長光源は、それぞれ同一周期で光パルス列を発生する第1及び第2の光パルス列発生手段と、それぞれ前記第1及び第2の光パルス列発生手段で発生される光パルス列を増幅する第1及び第2の光増幅器と、それぞれ前記第1及び第2の光増幅器で増幅された光パルス列の光スペクトルを拡散する第1及び第2の光スペクトル拡散手段と、前記第1及び第2の光スペクトル拡散手段から出力される光パルス列を多重分配する光パルス列多重分配手段と、この手段で分配される一方の光パルス列をモニタし、前記第1及び第2の光パルス列発生手段のパルス間隔が半周期ずれるようにいずれか一方の光パルス列発生手段を制御するパルス間隔制御手段と、前記光パルス列多重分配手段で分配された他方の光パルス列を任意の波長で切出し出力する光波長分離手段とを具備して構成される。

【0029】

【作用】すなわち、従来の多波長光源の構成では、SC発生用のファイバの入出力光は偏光しているが、環境の温度などによって、偏波状態が変動する。このため、この光をフィルタに通して通常的光変調器に入射すると、変調器の出力光のパワーレベルが変動してしまう。全ての経路を偏波保持ファイバにすることは、コストが高だけでなく、経路が長い場合には、偏波保持ファイバの偏波消光比が落ちてしまう。よって、偏波保持ファイバの有効性も限られている。

【0030】第1の発明では、光パルス発生器から発生する光パルス列を各パルスの偏波状態が交互に直交するようにしているので、SC発生用のファイバと光変調器への接続ファイバを偏波保持にする必要がない。特に、ファイバの偏波分散が十分小さければ、直交したSCパルスは時間領域で重ならない。このことから、時間平均の偏光度をゼロに維持できる。

【0031】ここで、フィルタでSCスペクトルの一部を取り出して光変調器に入射すると、ある偏波の光しか光変調器を通れないため、光パルスの偏波面が交互に直交していれば、入射光の偏波状態をどのように回転しても、必ず半分の光パワーが光変調器を通ることになり、振幅変動がなくなる。但し、ビットレートがパルス繰り返し周波数の1/4に制限される。

【0032】以上の結果、通常の最適化された帯域の電気フィルタを用いて受信処理を行えば、変調された光パルス列を特別な信号処理なしで復調することができる。具体的には、モード・ロック・ファイバ・レーザや他の光短パルス源の出力の偏波状態は、通常の場合固定である。第1の発明では、光パルス列を偏波スクランブルするため、高速な偏波変調器及び偏波スイッチ等を用い

て、各光パルスの偏波状態が順次直交するように交互に変化させる。この場合、偏波切替えの制御信号は光パルスと同期させる。

【0033】他の光パルス列偏波スクランブルの手法としては、光パルス列を2つのパスに分け、一方のパスの光パルス列の偏波面を90度回転させると共にそのパルス周期の半周期分遅延させ、再び2つのパスの光パルス列を多重する。各パスの光パルス列はパルスの偏波状態が交互に直交しているので、平均の偏光度をゼロにすることができる。

【0034】さらに、他の光パルス列偏波スクランブルの手法としては、偏波保持ファイバを用い、ファストモードとスローモードの2つの偏波モードに光パルス列を同じパワーで入射する。このとき、偏波保持ファイバを各モードの伝達遅延差が光パルス列のパルス周期の半分になる長さとするれば、その出力光パルス列はパルスの偏波状態が交互に直交するようになり、平均の偏光度をゼロにすることができる。

【0035】偏波スクランブルされた光パルス列を増幅してから、長さ数キロの分散シフトファイバ（非偏波保持型）を通すことで、無偏光の広帯域白色パルスを発生できる。

【0036】また、偏波スクランブルを発生するためには、必要となる高いピークパワーを得る必要があり、パルス繰り返し周波数を低くした方が有利である。しかし、高いビットレートのデータを送るためには、繰り返し周波数を高くする必要がある。

【0037】第2の発明では、このトレード・オフを削除するため、まず、低い繰り返し周波数の高いピークパワーの光パルス列を発生して、スペクトルを広く拡散させた後、光分割多重処理により光パルス列の繰り返し周波数を通倍することによって、高い繰り返し周波数の広帯域なSCスペクトルを発生する。

【0038】発生されたSCスペクトルの帯域は、元の光パルス列のピークパワーとスペクトル幅に依存する。したがって、スペクトル幅の広いパルスを使うと、さらに少し低いパルスで十分なスペクトル拡張が起こる。パルス光源として、レーザ素子を直接変調すれば、波長チャープによってパルスのスペクトルが広がる。

【0039】具体的には、SCスペクトルの帯域を拡大した光パルス列を2つパスに分配し、一つのパスの光パルス列を半周期分遅延させた後、再び多重する操作を繰り返し行うことで、パルス繰り返し周波数を通倍することができる。

【0040】または、SCスペクトルの帯域を拡大した光パルス列をN（Nは2以上の自然数）個のパスに分配し、それぞれ光パルス列を相対的に0, T/N , $2T/N$, $3T/N$, ..., $(N-1)T/N$ で遅延させて（T：パルス周期）、再び多重することで、パルス繰り返し周波数を通倍することができる。この場合、多重処

理にスターカブラを用いて多重により通倍された光パルス列を光波長分離器に入力することで、多数の波長の光搬送波が得られる。

【0041】また、レーザ光源を直接パルス変調し、例えば電気吸収型変調器を用いてそのパルス幅を狭くすることで、波長チャープによって最終的な光パルス列のスペクトルを広げることができる。

【0042】光パルス列発生部分の冗長構成をとることで、信頼性を向上させることができる。この場合、光増幅器及び光スペクトル拡散部分を含めて冗長構成をとるようにしてもよい。尚、必要に応じて、第1の発明と第2の発明を組み合わせる構成してもよいことは勿論である。

【0043】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について詳細に説明する。図1は第1の発明に係る多波長光源の第1の実施形態を示すもので、21はモード・ロック・ファイバ・レーザによる光パルス発生器である。この光パルス発生器21は、発振器22からの周波数信号に基づいて光出力をパルス化する。このようにして生成された光パルス列を例えばLiNbO₃位相変調器23に入力し、各光パルスを直交する2つの偏波状態に交互に変化させる。

【0044】具体的には、図2に示すように、位相変調器23の光導波路231に対し、光パルス列をTEモードとTMモードが半分ずつとなるように与え、同時に発振器22の発振出力を可変移相器24で位相調整して、光導波路231の両側に形成された一対の電極232、233に与える。このとき、位相変調器23では、与えられた電圧によってTEモードとTMモードの位相差を変えるため、出力光の偏波状態を変化させることができる。

【0045】そこで、可変移相器24で得られた適当な位相と周波数と振幅の正弦波で位相変調器23をドライブすることで、各光パルスを偏波面が交互に直交するように変化させれば、偏波スクランブルを効率よく実現することができる。

【0046】このようにして偏波スクランブルされた光パルス列を、従来と同じようにEDFA25で増幅してからSCファイバ26に通す。これにより、無偏光のSCスペクトルが発生される。

【0047】したがって、この実施形態の構成によれば、EDFA25の入力光パルス列に偏波スクランブルをかけることができるので、WDM合分波器27で分離された複数の波長光 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ はいずれも無偏光となり、光変調器の光搬送波として利用した場合にその偏波依存性の問題を解消することができる。

【0048】図3は第1の発明に係る多波長光源の第2の実施形態を示すものである。尚、図3において、図1と同一部分には同一符号を付して示し、ここでは重複す

る説明を省略する。

【0049】この実施形態の多波長光源では、光パルス発生器21から出力される光パルス列を第1の光ビームスプリッタ(PBS)31により2つのパスに分配し、一方のパスを適当な長さの偏波保持ファイバ32に通すことで他方のパスより半周期遅延させ、かつその偏波面が90度回転するように振じりを加えて、第2のPBS33により再び他方のパスの光パルス列に多重するようにしている。

【0050】このとき、多重されたパルス列のパルス繰り返し周波数が倍になるが、パルスの偏波面は交互に直交する。このため、第2のPBS33の多重光は偏波スクランブルされている。この多重光を前述のEDFA25で増幅し、SCファイバ26に通すことで無偏光のSCスペクトルが得られ、WDM合分波器27で複数の波長光 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ に分離することができる。

【0051】したがって、この実施形態の構成によれば、適当な長さの偏波保持ファイバ32と2つのPBS31、33を用いて簡単に無偏光のSCスペクトルが得られる。

【0052】図4は第1の発明に係る多波長光源の第3の実施形態を示すものである。尚、図4において、図1と同一部分には同一符号を付して示し、ここでも重複する説明を省略する。

【0053】この実施形態の多波長光源では、光パルス発生器21の光を適当な長さLの偏波保持ファイバ41を用い、そのファストモードとスローモードに半分ずつ入るように入射し、その出力光を前述のEDFA25に入力する。

【0054】このとき、偏波保持ファイバ41の偏波分散によって、直交している光パルス列のタイミングが次第にずれていく。そこで、ファストモードとスローモードの光パルス列が互いに半周期ずれるように偏波保持ファイバ41の長さLを設定すると、時間平均の偏光度をゼロにすることができる。

【0055】したがって、この実施形態の構成によれば、適当な長さの偏波保持ファイバ41を用いるだけで、簡単に無偏光のSCスクランブルが得られるようになる。図5は第2の発明に係る第1の実施形態の構成を示すものである。尚、図5において、図1と同一部分には同一符号を付して示し、ここでも重複する説明を省略する。

【0056】この実施形態の多波長光源では、SCファイバ26でスペクトルが拡張された光出力を通倍器51を介してWDM合分波器27に入力する。通倍器51は、まず入力された光パルス列(1周期をTとする)を3dBカブラ511で2つのパスに分配し、一方のパスの光パルス列を他方のパスの光パルス列より半周期分($T/2$)遅延させた後、再び3dBカブラ512により多重することで、パルス繰り返し周波数を倍増する。

【0057】続いて、同じように光パルス列を3dBカブラ512により2つパスに分配し、一方のパスの光パルス列をさらに半周期分($T/4$)遅延させた後、3dBカブラ513により再び多重することで、パルス繰り返し周波数をさらに倍増する。これにより、光パルス列は4倍のパルス繰り返し周波数に逡倍されてWDM合分波器27に送られるようになる。

【0058】尚、図5では逡倍段数を2段としたが、さらに段数を増やすことで必要な繰り返し周波数を得るまで逡倍することが可能である。したがって、この実施形態の構成によれば、高いピークパワーの光パルス列をEDFA25で増幅するようにしても、単に光逡倍器を用いるだけで、簡単かつ低コストな手法で光パルス列を逡倍することができるので、高いビットレートのデータを伝送可能な広帯域白色パルスが発生することができる。

【0059】ここで、最後の3dBカブラ513の2つの出力ポートからほぼ同じように逡倍された光パルス列が得られる。そこで、この2つの出力光パルス列を各々独立したWDM合分波器に入力し、両方とも互いに異なる波長別に波長分離することで、さらに多数のチャンネルを利用できる。

【0060】図6は第2の発明に係る多波長光源の第2の実施形態の構成を示すものである。尚、図6において、図1と同一部分には同一符号を付して示し、ここでも重複する説明を省略する。

【0061】この実施形態の多波長光源は、3dBカブラの代わりに、 $1 \times N$ の光分配器61を用いて光パルス列をN個のパスに分配し、それぞれ光パルス列を相対的に、0、 T/N 、 $2T/N$ 、 $3T/N$ 、 \dots 、 $(N-1)T/N$ で遅延させて(T :パルス周期、図では $N=4$)、再び $N \times N$ のスターカブラ62で多重する。これにより、光パルス列をN逡倍することができる。

【0062】ここで、多重用のスターカブラ62にはN個の出力ポートがあるので、N本のパスに光パルス列が発生できる。各パスの光パルス列をWDM合分波器631、632に入力すれば、それぞれ互いに異なる複数の波長光に分離することができる。

【0063】勿論、図5と図6に示す構成を組み合わせ、所望なパス数と所望の逡倍数の光パルス列を得るようにしてもよい。図7は第2の発明に係る多波長光源の第3の実施形態の構成を示すものである。尚、図7において、図1と同一部分には同一符号を付して示し、ここでも重複する説明を省略する。

【0064】この実施形態の多波長光源は、コヒーレント光を発生するレーザダイオード71を発振器22の出力で直接パルス変調し、その光出力を電気吸収型変調器72に入力し、この電気吸収型変調器72を可変移相器73で位相調整された発振器出力で駆動し、その光出力

を前述のEDFA25に入力する。

【0065】すなわち、レーザダイオード71を直接パルス変調した場合、その光パルス列のスペクトルは、外部変調で発生された光パルス列のスペクトルに比べて数倍広いので、非線形な光物質に通すと、スペクトルも数倍広がるようになる。

【0066】このとき、光パルス列を電気吸収型変調器72に入力し、直接変調信号と位相を合わせた信号で駆動することで、直接変調で発生された光パルス列のパルス幅をさらに狭くし、ジッターと雑音を抑えることができる。

【0067】したがって、上記構成によれば、光パルス列のパルス幅を極めて狭くすることができ、しかも光パルス列のスペクトルが十分広く広がっているため、EDFA25に通しても高い平均パワーを達成することができる。これにより、簡単かつ低コストな手法で高いビットレートのデータを伝送可能な広帯域白色パルスが発生することができる。

【0068】図8は第2の発明に係る多波長光源の第4の実施形態の構成を示すものである。尚、図8において、図1と同一部分には同一符号を付して示し、ここでも重複する説明を省略する。

【0069】この実施形態による多波長光源は、光パルス発生部分を冗長させたもので、第1及び第2の光パルス発生器811、812を備える。第1の光パルス発生器811は発振器22から出力される周波数信号により直接パルス変調し、第2の光パルス発生器812は発振器22の出力を可変遅延回路82で遅延させた周波数信号によりパルス変調する。

【0070】第1及び第2の光パルス発生器811、812から出力される光パルス列は3dBカブラ83で合成分配され、一方のパスの光パルス列はEDFA25に、他方のパスの光パルス列は光検出器(PD)84に送られる。

【0071】光検出器84は光パルス列の発生をモニターするためのもので、そのモニター出力はパルス間隔制御回路85に送られる。この制御回路85はモニター信号からパルス間隔を識別し、そのパルス間隔が一定となるように可変遅延回路82の遅延量をコントロールする。

【0072】すなわち、上記構成による多波長光源では、2つの光パルス発生器811、812を用いて、各出力光パルス列を多重するようにしている。このとき、その2つの光パルス列のタイミングを、多重の際にパルスが重ならないように調整する必要がある。パルスが重なると、干渉により多波長光源の出力レベルが変動してしまう。

【0073】そこで、多重された光パルス列を光検出器84でモニターし、元の繰り返し周波数の倍の周波数成分が最大になるように可変遅延回路82の遅延量を制御し、光パルス列のタイミングを調整する。これにより、

一方の光パルス列の各パルスが他方の光パルス列のちょうど真ん中に入れることができる。

【0074】この構成によれば、一方の光パルス発生器が故障しても、他方の光パルス発生器が継続して動作するので、瞬断することなく各光搬送波を発生し続けることができ、信頼性を向上させることができる。尚、その場合にはパルス間隔が広がるため、伝送ビットレートが下がる。よって、予め故障時を考慮してビットレートを制限しておく必要がある。

【0075】図9は第2の発明に係る多波長光源の第5の実施形態の構成を示すものである。尚、図9において、図8と同一部分には同一符号を付して示し、ここでも重複する説明は省略する。

【0076】この実施形態の多波長光源は、図8に示した光パルス発生器の冗長構成に加え、EDFAも含めて冗長させたものである。すなわち、第1及び第2の光パルス発生器811、812から出力される光パルス列を、それぞれ第1及び第2のEDFA911、912で増幅した後、SCファイバ921、922で光スペクトルを拡散する。

【0077】このようにして得られた2つの光パルス列は3dBカプラ93で合成分配される。一方のパスの光パルス列はWDM合分波器27に送られ、適宜複数の波長光に分波される。また、他方のパスの光パルス列は光検出器(PD)84によってモニタされ、そのモニタ出力は制御回路85に送られる。この制御回路85はモニタ信号からパルス間隔を識別し、そのパルス間隔が一定となるように可変遅延回路82の遅延量をコントロールする。

【0078】上記構成によれば、EDFAを含めて冗長構成をとっているため、さらに信頼性を向上させることができる。ここで、上記構成では、光パルス列のモニタをSCファイバ921、922の各出力の多重光について行うようにしている。SCファイバ921、922の前に多重することもできるが、パワーがカプラの挿入損失分減ってしまい、その分出力スペクトル幅も減ってしまう。よって、実施形態の構成のように、SCファイバ921、922の後でモニタした方が有利である。

【0079】ところで、図5乃至図9に示した第2の発明の各実施形態においても、SCファイバ出力の偏波状態が固定であるため、光変調器の偏波依存性に影響される問題がある。そこで、各実施形態において、第1の発明の構成を適用すれば、この問題は解決できる。図10乃至図14にそれぞれ図5乃至図9の実施形態の変形例を示す。

【0080】各図において、EDFA25または911、912の前段には偏波切替器101が設けられる。この偏波切替器101には、例えば図1または図3、図4に示した実施形態の構成が適用可能である。

【0081】図15は第1または第2の発明による多波

長光源を用いたLAN（ローカル・エリア・ネットワーク）の構成を示すもので、Aは上記した第1乃至第8の実施形態のいずれかによる多波長光源であり、この波長光源Aで発生される光搬送波 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ はそれぞれ各送信ノード内の光変調器B1～Bnに入力され、適宜送信データで変調される。

【0082】これらの光変調信号はスターカプラCで波長多重されて再びmチャンネルに分配され、それぞれ受信ノードに送られる。各受信ノードでは所望の波長の光信号を光フィルタD1～Dmで選択し、光受信部(RX)E1～Emで受信することができる。

【0083】

【発明の効果】以上のように第1の発明によれば、簡単かつ低コストな手法で無偏光の広帯域白色パルスを発生できる多波長光源を提供することができる。また、第2の発明によれば、簡単かつ低コストな手法で高いビットレートのデータを伝送可能な広帯域白色パルスを発生できる多波長光源を提供することができる。さらに、第1及び第2の発明を組み合わせることで、無偏光かつ高いビットレートの伝送が可能な多波長光源を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の発明に係る多波長光源の第1の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図2】 同実施形態に用いられる位相変調器とその使用例を示す斜視図である。

【図3】 第1の発明に係る多波長光源の第2の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図4】 第1の発明に係る多波長光源の第3の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図5】 第2の発明に係る多波長光源の第1の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図6】 第2の発明に係る多波長光源の第2の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図7】 第2の発明に係る多波長光源の第3の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図8】 第2の発明に係る多波長光源の第4の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図9】 第2の発明に係る多波長光源の第5の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図10】 図5の実施形態に第1の発明を適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図11】 図6の実施形態に第1の発明を適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図12】 図7の実施形態に第1の発明を適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図13】 図8の実施形態に第1の発明を適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図14】 図9の実施形態に第1の発明を適用した場合の構成を示すブロック図である。

【図 15】 第 1 または第 2 の発明による多波長光源を用いた LAN の構成例を示すブロック図である。

【図 16】 従来の多波長光源の構成を示すブロック図である。

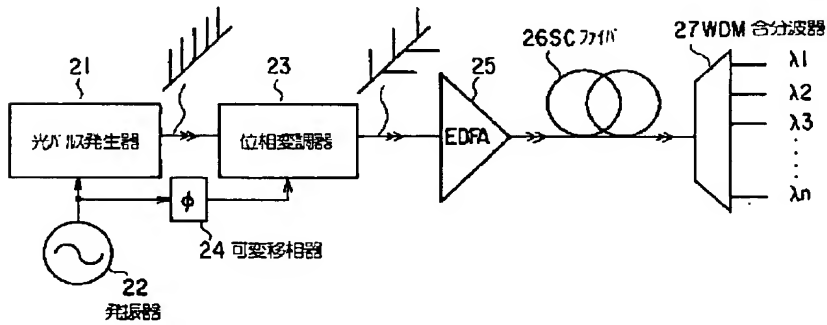
【図 17】 本発明に関する多波長光源の動作原理を説明するためのスペクトル波形図である。

【符号の説明】

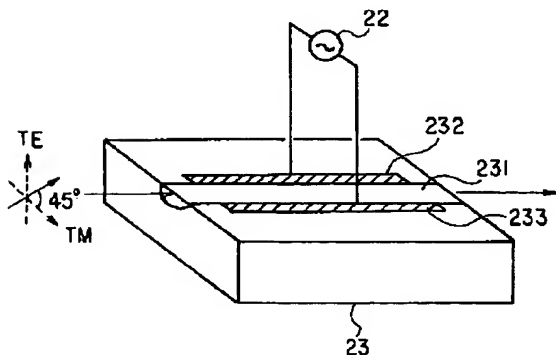
21…光パルス発生器
22…発振器
23…LiNbO₃ 位相変調器
231…光導波路
232, 233…電極
24…可変移相器
25…EDFA
26…SCファイバ
27…WDM 合分波器
31…第 1 の PBS
32…偏波保持ファイバ
33…第 2 の PBS
41…偏波保持ファイバ
51…通倍器

511, 512, 513…3dB カプラ
61…1×N 光分配器
62…スターカプラ
631, 632…WDM 合分波器
71…レーザダイオード
72…電気吸収型変調器
73…可変移相器
811, 812…光パルス発生器
82…可変遅延回路
83…3dB カプラ
84…光検出器 (PD)
85…パルス間隔制御回路
911, 912…EDFA
921, 922…SCファイバ
93…3dB カプラ
101…偏波切替器
A…多波長光源
B1~Bn…光変調器
C…スターカプラ
D1~Dm…光フィルタ
E1~Em…光受信部 (RX)

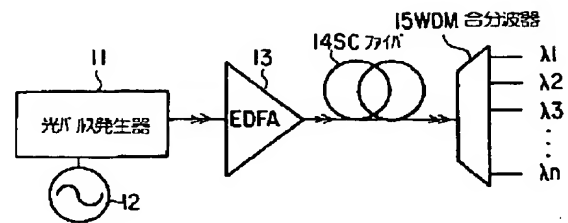
【図 1】



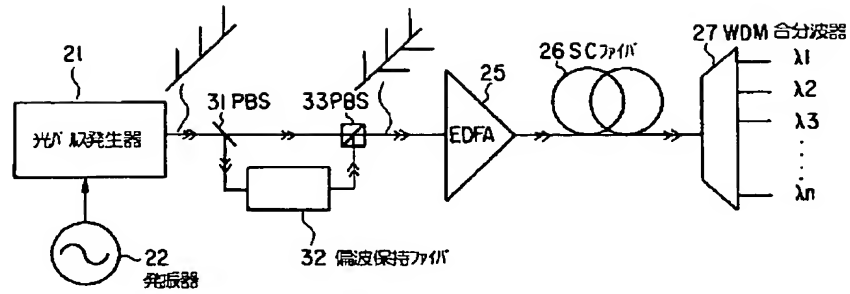
【図 2】



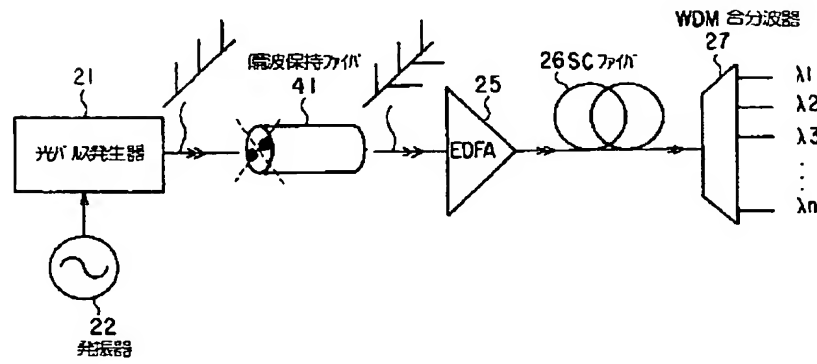
【図 16】



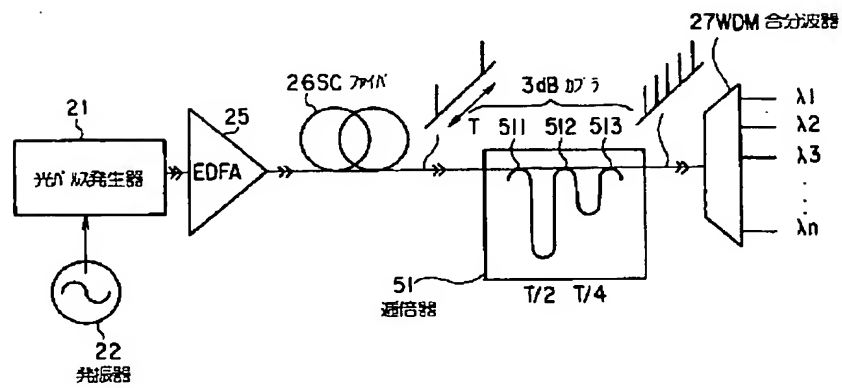
【図 3】



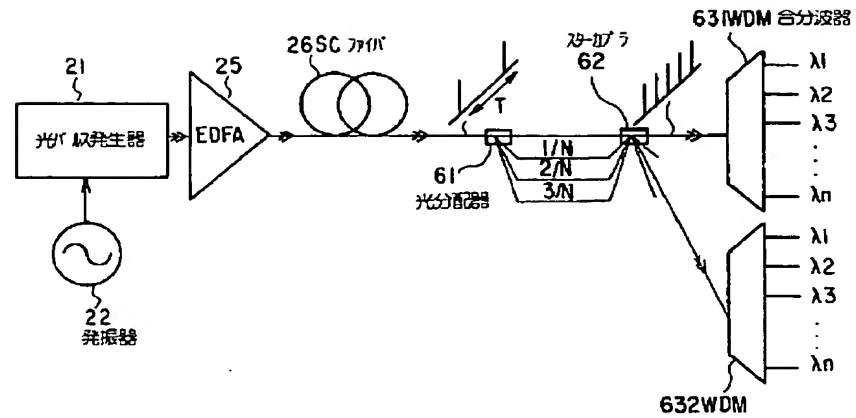
【図 4】



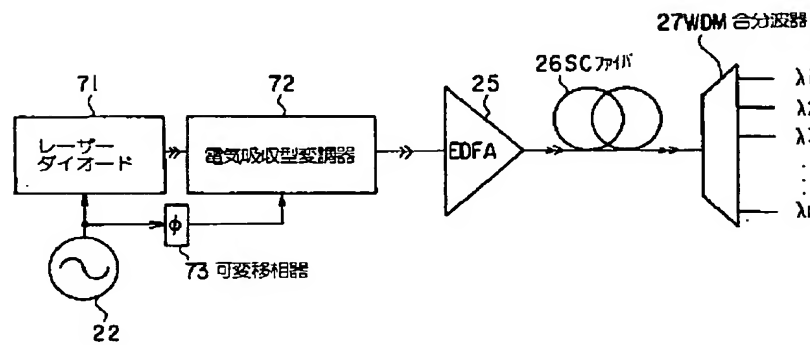
【図 5】



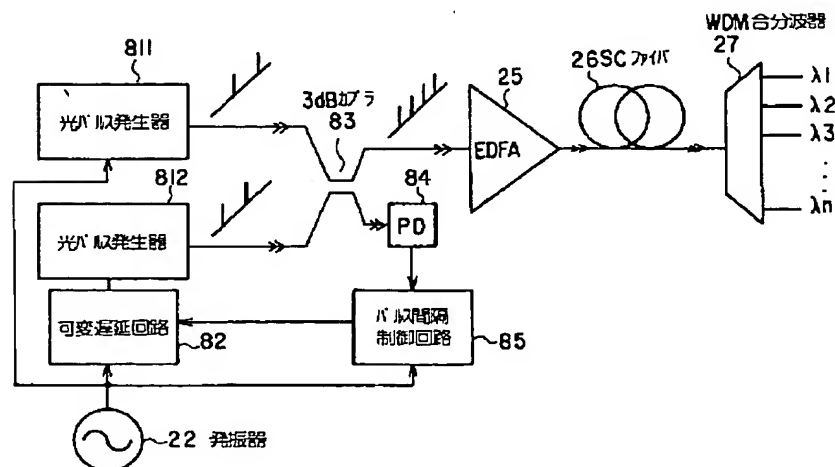
【図 6】



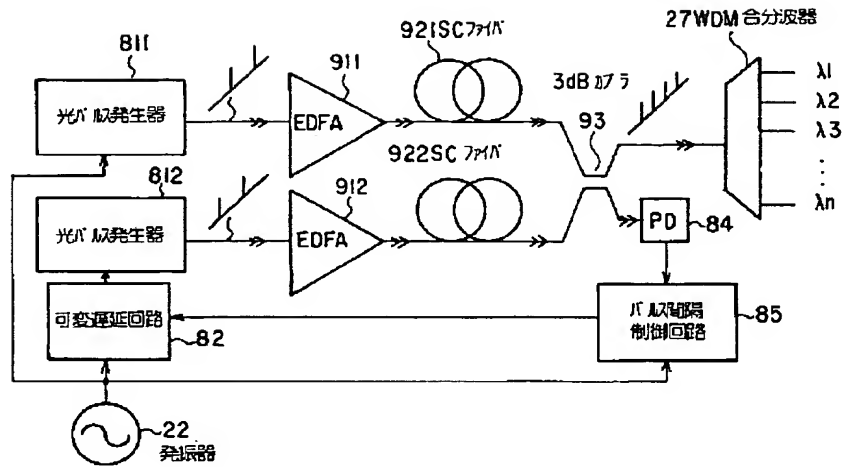
【図 7】



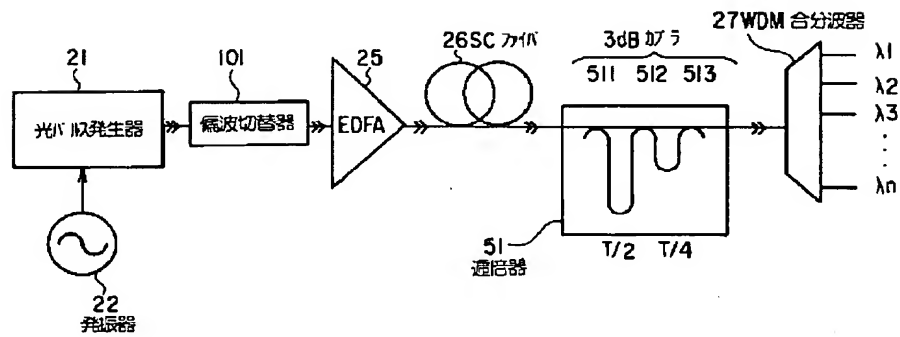
【図 8】



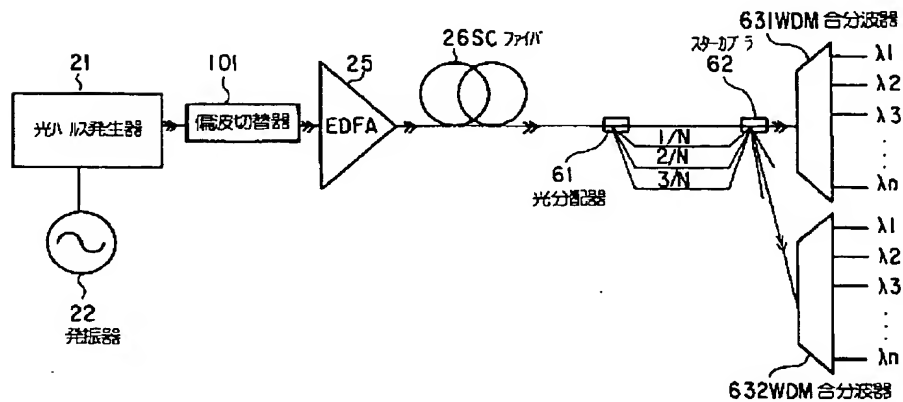
【図 9】



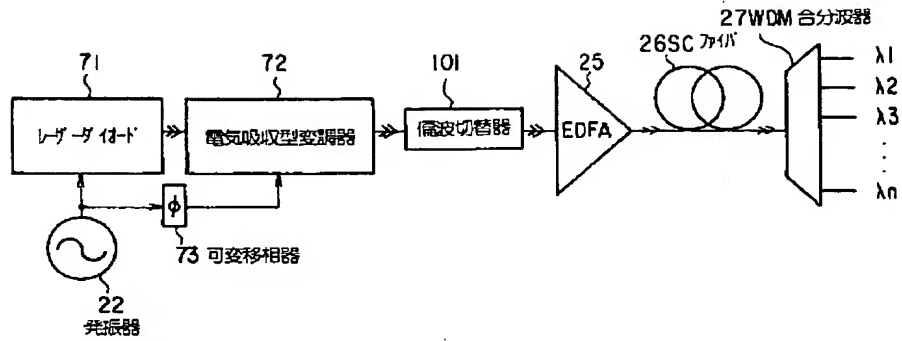
【図 10】



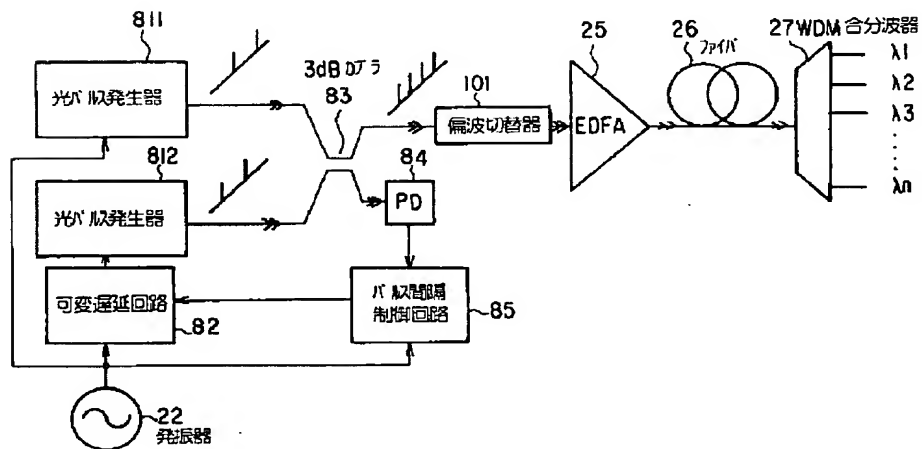
【図 11】



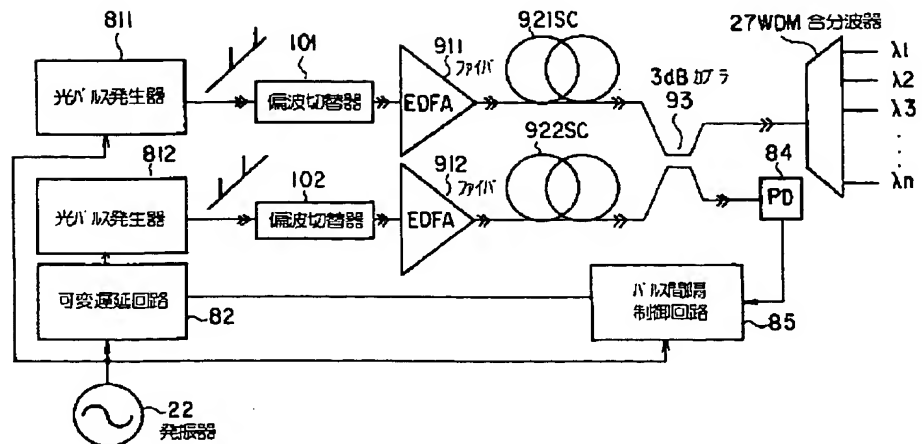
【図 12】



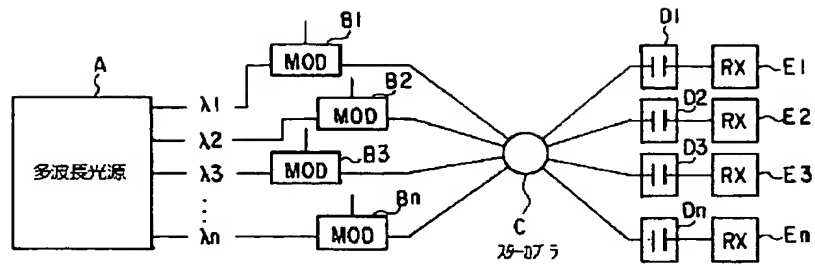
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【図 17】

